

## Des modèles pour analyser ensemble les dynamiques variétales du sorgho dans un village malien

Didier Bazile<sup>1</sup>  
Géraldine Abrami<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Département Environnements & Sociétés, UPR 47 « GREEN », Campus international de Baillarguet, TA C-47/F, 34398 Montpellier cedex 5  
<didier.bazile@cirad.fr>

<sup>2</sup> Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (Cemagref) UMR G-Eau, 361, rue Jean-François Breton, BP 5095, 34398 Montpellier  
<geraldine.abrami@cemagref.fr>

### Résumé

Notre étude traite de la gestion locale des variétés de céréales au Mali dans un objectif de conservation de la biodiversité. Pour pallier les insuffisances de l'État, un système informel basé sur les réseaux sociaux existants s'est développé afin d'approvisionner les paysans en semences. Il permet la gestion collective d'un grand nombre de variétés traditionnelles. Notre recherche vise à améliorer les connaissances sur ce système semencier traditionnel et notamment sur le rôle des différents acteurs en jeu dans le maintien de la biodiversité. La méthodologie repose sur les concepts de la modélisation d'accompagnement. Sur la base d'hypothèses initiales issues d'un travail d'enquête sur la gestion paysanne des variétés, nous avons produit une série de modèles remis en question au cours d'ateliers successifs utilisant les jeux de rôles et les systèmes multiagents. Le résultat de ce travail est un ensemble de modèles qui sert à formaliser la connaissance, à tester des théories et à valider avec l'ensemble des acteurs une représentation commune de la gestion collective de la biodiversité des céréales pouvant servir de support à la simulation de nouvelles règles de gestion.

**Mots clés :** agrobiodiversité ; céréale ; gestion des ressources ; Mali ; modèle de simulation.

**Thèmes :** productions végétales ; ressources naturelles et environnement ; systèmes agraires.

### Abstract

**Sharing models for a collective analysis of sorghum varietal dynamics in a Malian village**

This study deals with the local management and biodiversity preservation of cereal varieties in Mali. The State is unable to provide adequate seeds to the farmers who rely mainly on seed exchanges within existing social networks. This informal seed system operates a collective management of many traditional varieties. Our research aims at improving the knowledge of this traditional seed system. We are particularly interested in identifying the potential and existing roles of the different stakeholders in preserving biodiversity. We use a methodology based on the concept of companion modeling. On the basis of initial hypotheses extracted from an extensive set of surveys, we have produced several successive models using Role-Playing Games and Agent-Based Systems. The process has evolved through the rendering and questioning of these models in specific workshops. As a result, these models have proven useful in formalizing knowledge, in testing hypotheses with the stakeholders and building a shared representation of their system with them. In the future, this representation will be used as a basis for prospective simulation of new rules for the collective management of cereal biodiversity.

**Key words:** agrobiodiversity; Mali; resources management; simulation models.

**Subjects:** vegetal productions; natural resources and environment; farming systems.

La sécurité alimentaire mondiale repose sur une base dangereusement étroite avec quelques cultures et variétés améliorées à haut rendement (CIP-UPWARD, 2003). Pourtant, dans les régions climatiques défavorables, le maintien d'une diversité génétique élevée a permis la survie des populations humaines au cours des siècles (Mazoyer et Roudart, 2002). Aujourd'hui, les « centres de diversité » des plantes cultivées restent largement situés dans les pays en développement où l'agriculture traditionnelle gère une diversité d'espèces et de variétés en liaison avec la variabilité des milieux exploités (Bazile et Soumare, 2004). Les agriculteurs s'appuient sur la diversité variétale maintenue par les pratiques de gestion de semences (Brookfield *et al.*, 2002). Au Sahel, les agriculteurs ont recours aux systèmes semenciers informels structurés sur les réseaux sociaux existants.

Le Plan d'action mondial pour la conservation des ressources phylogénétiques (Food and Agriculture Organisation, 1996) vise à renforcer cette capacité des paysans à gérer la diversité de leurs ressources génétiques et notre recherche s'inscrit dans une perspective d'accompagnement des paysans dans le maintien de cette diversité. Elle a bénéficié de trois financements distincts (Fonds français pour l'environnement mondial, Fonds international de développement agricole, et Bureau des ressources génétiques). La modélisation sert de support pour l'intégration des différents savoirs scientifiques et paysans. Après quelques rappels sur la problématique des systèmes semenciers pour la conservation de la biodiversité agricole, cet article présente la démarche de modélisation d'accompagnement et les différents modèles issus de ce travail.

## Le système semencier paysan au cœur de la conservation *in situ*

Il existe une grande diversité de situations d'approvisionnement en semences ; elles se répartissent sur un *continuum* entre une production exclusivement à la ferme de cultivars locaux jusqu'à une acquisition de la totalité des semences à l'exté-

rieur de l'exploitation agricole. De multiples acteurs participent à la fourniture des semences ; ils incluent notamment la famille, les organisations paysannes (et organisations non gouvernementales (ONG)) locales, les distributeurs privés, la recherche et le secteur semencier public. Ces acteurs, leurs comportements et leurs multiples interactions constituent le « système semencier ».

### De la connaissance de la diversité variétale à celle du système semencier paysan

Si la production de semences n'est pas économiquement soutenable au niveau des agriculteurs, les systèmes semenciers paysans fournissent des avantages à l'ensemble de la société. Parmi ces bénéfices globaux figurent l'utilisation et la conservation des ressources génétiques et la gestion durable des agroécosystèmes. Le système semencier paysan apparaît essentiel en complément du système semencier national (Cleveland *et al.*, 1994 ; Longley *et al.*, 2002) : i) pour la préservation des variétés locales ; ii) comme canal de diffusion des variétés améliorées ; iii) pour la gestion raisonnée de l'aide semencière d'urgence en réponse aux crises alimentaires. Il est donc urgent de s'intéresser au système semencier traditionnel qui participe à l'ensemencement des trois quarts des surfaces cultivées dans certains pays du Sud. Deux courants décrivent actuellement les systèmes semenciers paysans : les modèles génétiques de diversité et les modèles économiques de gestion du risque agricole (Bezançon et Pham, 2004 ; Teshome, 1999). Il est nécessaire de concilier ces deux approches au sein de la même représentation du système semencier pour décrire la diversité des agricultures familiales du monde dans des environnements instables.

Les travaux interdisciplinaires récents associant les généticiens aux sciences humaines intègrent ces dimensions à la fois sociale, culturelle, économique et politique, des pratiques de gestion de la diversité des plantes cultivées (Brush et Perales, 2007).

### Intégration des connaissances par la modélisation

En 1996, un groupe de chercheurs proposait une démarche appelée modélisation

d'accompagnement pour aborder la gestion des ressources renouvelables et de l'environnement (Bousquet *et al.*, 1996). Il s'agissait de s'engager dans une démarche transdisciplinaire pour aborder l'objet d'étude, et de s'appuyer sur la modélisation pour catalyser le processus d'interaction entre les différents porteurs de savoirs. Cette approche propose l'utilisation de différents modèles construits au cours de cycles itératifs qui permettent la remise en question continue des hypothèses et des représentations (Antona *et al.*, 2003). Plusieurs expériences utilisent cette méthode pour aborder la complexité autour des grands enjeux globaux, dont la biodiversité, avec des applications à différentes échelles (Bousquet *et al.*, 2002). Dans le champ de la biodiversité agricole, les travaux de Vejpas *et al.* (2004) sur le riz en Thaïlande constituent une voie nouvelle d'application de la démarche.

## Des outils pour dialoguer : du concept à sa mise en pratique au Mali

La modélisation d'accompagnement repose notamment sur l'utilisation de différents outils tels que les jeux de rôles (JdR), les enquêtes et interviews et, les modèles de simulation informatique pour aborder les systèmes complexes en situation d'incertitude, que ce soit pour des objectifs de recherche ou d'appui à la décision collective.

### Le système multiagents, un objet intermédiaire

Les systèmes multiagents (SMA) constituent un support de modélisation privilégié des démarches de modélisation d'accompagnement. Ce sont des systèmes informatiques constitués d'entités autonomes appelées agents qui évoluent dans un environnement. Ce dernier est constitué des objets et des ressources accessibles aux agents qui peuvent être situés dans l'espace au moyen d'une grille spatiale. Les agents sont dotés d'objectifs

qui leur sont propres et de capacités de raisonnement plus ou moins évoluées. Ils peuvent agir en modifiant l'environnement ou en communiquant avec les autres agents. Les SMA permettent de représenter les interactions entre des agents hétérogènes et de simuler leur évolution. Ils sont particulièrement bien adaptés à l'étude de problèmes intégrant des dynamiques naturelles et sociales et s'interrogeant sur les formes de coordination entre acteurs (Bousquet et Le Page, 2004 ; Le Page *et al.*, 2004).

## Une démarche itérative...

Une démarche de modélisation d'accompagnement se déroule en cycles successifs alternant recueil et synthèse de connaissances, formalisation dans un modèle et confrontation aux parties prenantes *via* des ateliers de simulation participative ou l'organisation de jeux de rôles. Le processus initié sur la gestion de la diversité variétale du sorgho au Mali s'est déroulé de la manière suivante :

- synthèse de données d'enquêtes à l'échelle de l'exploitation agricole sur 30 villages et intégration dans un modèle expert descriptif (Bazile *et al.*, 2005) ;
- développement itératif d'un modèle conceptuel sur les différents aspects de la prise de décision du paysan dans son choix variétal à travers des enquêtes complémentaires et des ateliers de JdR de juin à décembre 2005 ;
- définition d'un SMA théorique, « DIVA » (pour Diversité Variétale), à l'issue du premier JdR pour analyser le comportement du paysan face au changement de variétés (Tryphon, 2005) ;
- production d'un SMA générique, DIVA-Mod, qui intègre les différents modules de prise de décision dans un support unique (Abrami *et al.*, 2007) ;
- utilisation de DIVAMod dans des ateliers participatifs. En avril 2006, les représentants paysans de cinq régions du Mali ont calibré le modèle en s'appuyant sur une discussion autour des similarités et des différences propres à leurs situations agricoles. En avril 2007, des paysans et des ONG du Mali et du Niger ont participé à un nouveau JdR pour tester la pertinence des coopératives semencières comme forme de coordination du système semencier paysan. L'article d'Abrami *et al.* (2008) présente en détail la succession des jeux de rôles et leurs objectifs respectifs.

## ...basée sur la construction d'hypothèses communes en cours de processus

La décision de semis d'une variété est le fait d'un paysan dans son exploitation mais la constitution d'un portefeuille variétal au niveau du village dépend de la somme des décisions individuelles et l'accès à celui-ci est fonction de règles collectives. Nos hypothèses de base étaient que l'évolution de la diversité variétale au sein d'un village émerge des interactions entre : i) les processus individuels de décisions selon les préférences ou stratégies du paysan ; ii) la structure du système semencier villageois prédéterminée par les liens sociaux ou spatiaux ; iii) les rôles particuliers joués par certains villageois en fonction de leur statut social. La démarche de modélisation nous a permis d'affiner et de formaliser ces hypothèses puis de les valider ou de les reformuler.

Le résultat de ce travail est un ensemble de trois modèles successifs : un modèle « expert » initial, un modèle théorique intermédiaire et un modèle générique permettant de simuler des scénarios de régulation des flux de variétés dans le cadre de la gestion collective de la biodiversité des céréales à l'échelle d'un village malien. Nos trois modèles reposent sur des hypothèses et des éléments d'architecture communs. Tous permettent de combiner différentes échelles : la parcelle qui est l'unité de base du semis d'une variété, l'exploitation agricole qui est l'unité de décision du choix des variétés, et le village où la richesse variétale s'exprime et s'échange. Les hypothèses formalisées concernent essentiellement la décision individuelle et les sorties permettent de visualiser la dynamique globale émergente des interactions dans l'espace *via* les groupes sociaux.

## Synthétiser les connaissances expertes

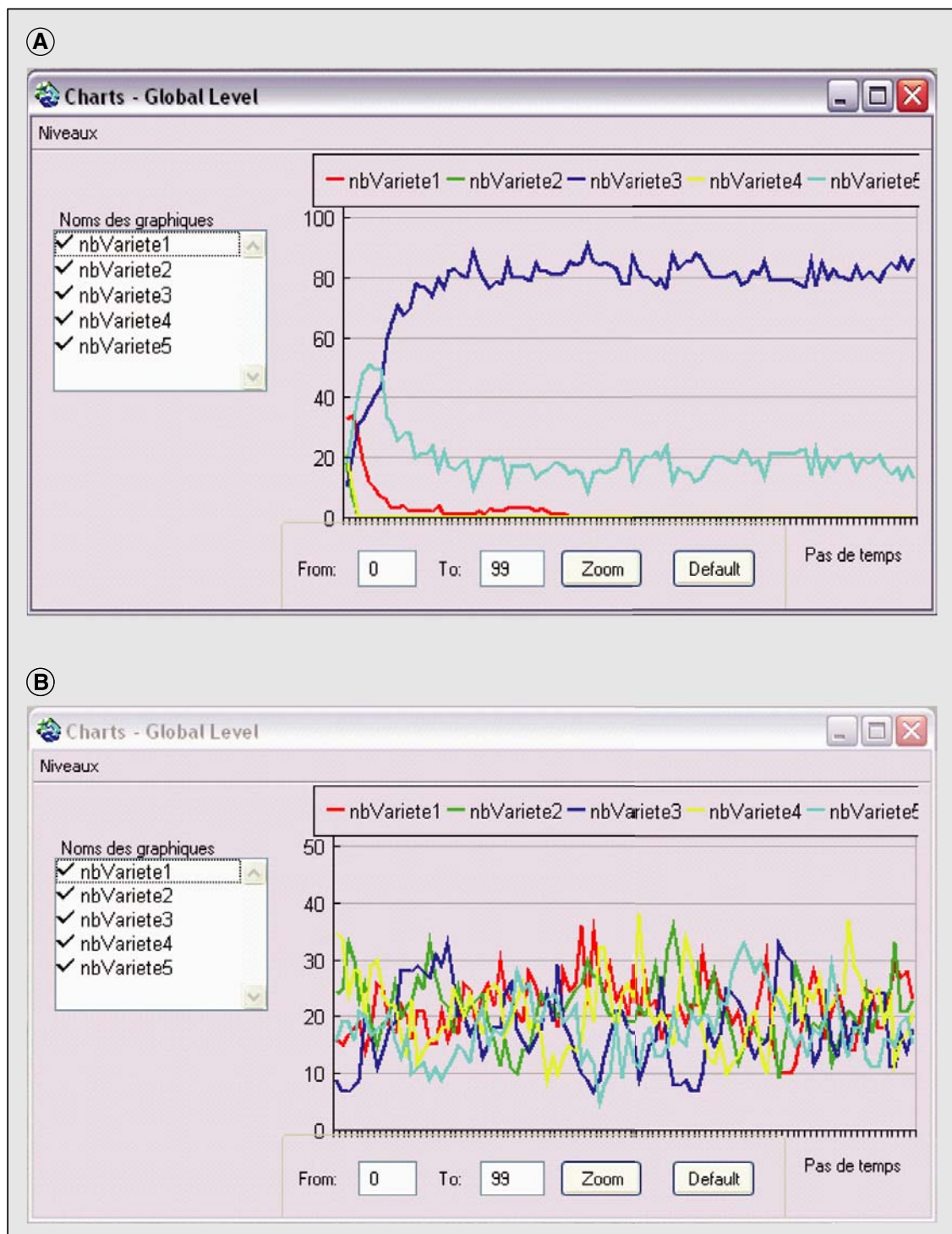
La première phase de modélisation était basée sur l'important travail d'enquêtes socio-économiques, agronomiques et géographiques réalisé entre 2001 et 2004. Le résultat est un modèle dit « expert » car uniquement basé sur une synthèse de la connaissance des scientifiques. Il permet la génération d'un état initial vraisemblable (exploitations, champs, cultures et variétés), mais il constitue une description statique de l'environnement paysan avec énormément de paramètres, ce qui

en fait un objet trop complexe pour envisager son partage avec les paysans. À partir de cette étape, le projet s'est réellement inscrit dans une démarche de modélisation d'accompagnement, le groupe de recherche s'est alors efforcé de trouver les outils adéquats permettant la confrontation de sa représentation du système aux parties prenantes. Les premiers jeux de rôles ont permis ce travail avec nos partenaires maliens. L'identification des lacunes scientifiques a permis d'initier une phase d'enquêtes complémentaires où les paysans nous ont aidés à mieux formuler les questions à poser pour traiter des dynamiques en jeu.

## Formaliser des hypothèses théoriques

Le SMA intermédiaire « DIVA » a été développé suite au premier atelier de JdR. Ce modèle représente un système culture simplifié dans lequel les paysans choisissent leurs variétés en fonction de différentes stratégies. Notre hypothèse initiale reposait sur le fait que les paysans recherchent activement les variétés répondant le mieux à leurs attentes. Avec le recul apporté par l'analyse du premier JdR, il apparaît que certains agriculteurs introduisent de nouvelles variétés de manière « passive », en imitant d'autres agriculteurs. Dans DIVA, les agents peuvent changer de variété à chaque pas de temps selon deux stratégies archétypales : i) une stratégie passive d'imitation telle que plus une variété est cultivée autour d'eux, plus les agents vont la choisir ; ii) une stratégie active d'évaluation pour acquérir les variétés adaptées à leurs préférences personnelles. Le modèle dispose de différentes sondes et points de vue sur l'espace pour suivre le déroulement des simulations selon onze scénarios qui font évoluer le pourcentage des paysans du village dans chacune de ces deux stratégies (*figure 1*).

L'intérêt du modèle théorique DIVA réside dans l'aspect pédagogique lié à l'exploration des scénarios. Il est en effet possible de reproduire des courbes d'introduction de variétés qui correspondent non seulement à une réalité observée, mais aussi aux modèles classiques de diffusion d'innovations (Nazmun *et al.*, 2005). Lorsque tous les agents fonctionnent selon une stratégie « active » de recherche de variétés, la plupart des variétés du village disparaissent (*figure 1A*). En revanche, lorsqu'ils suivent une stratégie passive d'imitation



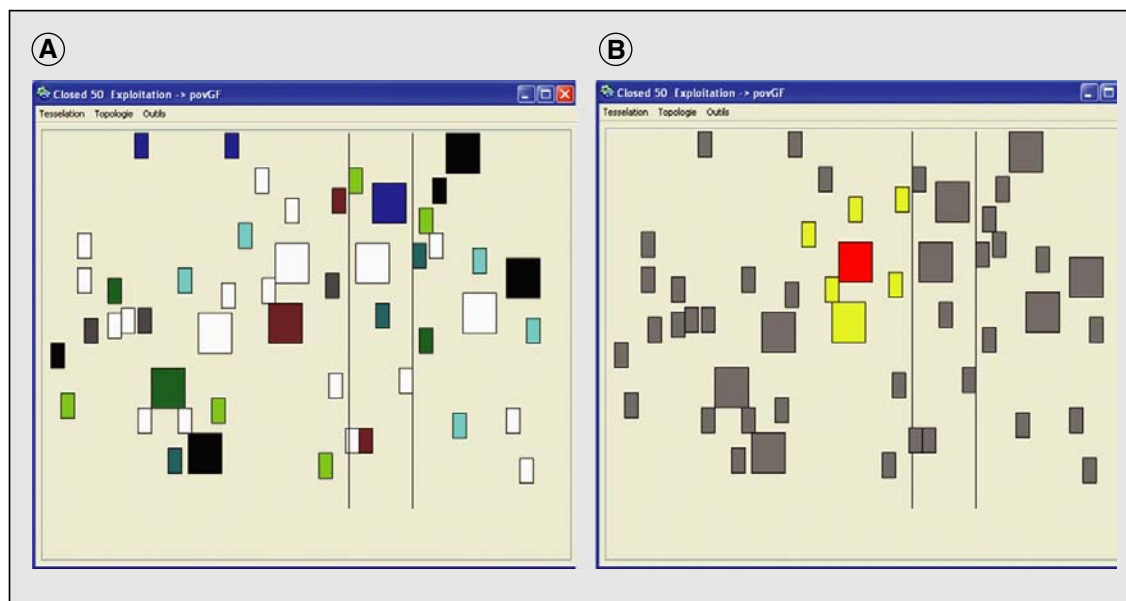
**Figure 1.** Simulations des dynamiques variétales dans le modèle DIVA (d'après Tryphon, 2005).

A) scénario 11 : 100 % des paysans suivent la stratégie active d'évaluation ; B) scénario 1 : 100 % des paysans suivent la stratégie passive d'imitation.

**Figure 1.** Varietal dynamics simulation by DIVA (from Tryphon, 2005).

DIVA : Diversité Variétale.





**Figure 2.** Réseaux sociaux et spatiaux dans DIVAMod : copies d'écran de différents points de vue de l'interface spatiale.

**Figure 2.** Social and spatial networks in DivaMod: screen copies of differentiated viewpoints of the spatial interface

La figure A montre avec différentes couleurs la distribution des exploitations selon les groupes familiaux qui combinent à la fois réseaux spatiaux et sociaux ; la figure B présente un réseau spatial de type voisinage qui détermine un rayon d'approvisionnement privilégié à partir du siège de l'exploitation agricole.

(figure 1B), toutes les variétés se maintiennent. Les sorties du modèle permettent de discuter du type de stratégie qu'elles illustrent en se référant à des situations de villages connus. Même si ces sorties ne

correspondent pas à des situations réelles, elles permettent d'observer les conséquences sur un temps long de certains comportements, et ainsi de soulever des problèmes à discuter collectivement.

Nous pouvons souligner ici la puissance de l'outil de modélisation dans la simulation de systèmes complexes. Avec des règles de décision des agents dans un environnement très simple, il est possible

**Tableau 1. Paramètres du modèle générique DIVAMod.**

Table 1. Generic model DIVAMod parameters.

Entité concernée	Paramètres	Valeurs	Commentaires
Exploitation	Sol	Sol1/Sol2/Sol1Et 2	Paramétrage réglable pour initialiser l'environnement sur un grand village type
	Taille	Petit/grand	
	Équipement	Peu/beaucoup	
Culture	Type	Coton/maïs/sorgho/mil	Fonction de la stratégie de rotation
Variété (sorgho)	Longueur de cycle	Précoce/moyen/tardif	Caractérisation de 8 variétés
	Photopériodisme	Oui/non	
	Origine	Locale/améliorée	
	Couleur	Noire/rouge	
	Rendement	> N/ Gain année normale (N)/ < N/Nul	
Climat	Cumul des pluies	Mauvais/bon/moyen	Seuils définis par les paysans sur les séries climatiques réelles
	Arrivée des pluies	Précoce/moyenne/tardive	
Agriculteur	Rôle	Rien/chef/membreOP/expert diversité/innovateur	Attribués à l'initialisation de manière aléatoire sur des exploitations respectant les caractéristiques voulues
	Stratégie association variétés	1 variété/2 variétés	
	Stratégie rotation	Selon lieu/taille exploitation	
	Stratégie changement variété	Adaptation/imitation/innovation	
	Stratégie recherche semence	Chemin fournisseurs =f(variété recherchée)	
			Définit les priorités sur fournisseurs

de produire des situations chaotiques dont la prédiction mathématique est totalement impossible.

## **Constituer un support de discussion générique pour explorer des scénarios et simuler les impacts d'une innovation**

Les JdR organisés après DIVA nous ont permis d'associer les paysans de cinq régions agricoles du Mali à la construction et à la validation de nos hypothèses sur leurs stratégies et leurs environnements de culture. Les points de vue spécifiques sont intégrés dans le modèle DIVAMod (pour DIVA-Modules) qui a une portée générique. Les agents du modèle représentent des paysans disposant d'une combinaison de quatre stratégies (les modules), chacune ayant fait l'objet d'une typologie : des stratégies de rotation définissent annuellement la composition de l'assolement ; des stratégies d'association fixent les variétés cultivées au sein de la sole sorgho ; des stratégies de changement de variétés déterminent la raison et le moment d'abandon d'une variété pour une autre ; enfin, des stratégies de recherche de semences déterminent le parcours du paysan parmi les fournisseurs potentiels. Certains paysans sont dotés d'un rôle particulier qui reflète leurs positions sociales au sein du village (chef, membre d'organisation paysanne, producteur reconnu d'une variété). Le modèle facilite l'imitation des agents ayant un statut plus visible que les autres dans le système semencier. Enfin, les paysans sont reliés entre eux par des liens de parenté qui leur donnent accès aux semences des autres membres de la famille à des moments particuliers du calendrier agricole. Le système semencier accessible à un paysan dans le modèle n'a donc pas d'existence propre. Il est défini pour le paysan par la conjonction de son voisinage spatial et social (*figure 2*) et, la seule unité de décision est l'exploitation agricole. L'environnement agroclimatique du paysan est représenté par son exploitation, les cultures et les variétés de sorgho présentes, et des dates d'arrivées et des quantités cumulées de pluies issues de séries climatiques disponibles sur 30 ans. Les paramètres de description de ces éléments sont issus d'un travail mené lors des JdR avec les paysans pour leur attribuer des valeurs qualitatives abstraites indépendantes de toute région (*tableau 1*). Cela donne au modèle une

portée générique et permet la discussion avec des paysans issus de différentes régions du Mali depuis Gao jusqu'à Sikasso. À partir d'un scénario défini par une distribution particulière d'exploitations et de stratégies dans un village (paramètre d'entrée du modèle défini ensemble pour une simulation participative), une simulation du modèle permet d'observer la dynamique d'occupation des variétés avec un pas de temps annuel. DIVAMod dispose d'un grand nombre de sorties qui permettent d'explorer, dans un premier temps en laboratoire, une gamme très étendue de scénarios avant de les partager dans des JdR avec les acteurs du système.

## **Discussions des résultats**

### **La modélisation : pourquoi, pour quoi faire ?**

L'objectif final du processus de modélisation d'accompagnement développé dans cette recherche (2004-2007) est d'aider à l'émergence de la décision collective pour produire et tester de nouvelles règles de gestion capable d'améliorer le maintien *in situ* des variétés de sorgho. Le premier modèle scientifique a permis de faire le point sur les connaissances expertes et de s'apercevoir que la masse de données recueillies par la méthode d'enquête classique ne permettait pas d'expliquer de façon claire et fiable les choix paysans liés à la dynamique de la biodiversité. Le deuxième modèle a permis de tester des hypothèses sur les comportements paysans en comparant les scénarios d'évolution à partir du suivi des courbes de diffusion observées ou théoriques. Le dernier modèle généralise les hypothèses et observations accumulées durant le processus pour les confronter sous une forme originale à nos partenaires locaux, paysans et ONG. Le processus participatif engagé avec les communautés agricoles au moyen des JdR et des ateliers participatifs de simulation a permis d'initier une réflexion collective à l'échelle du village sur des scénarios alternatifs de gestion de la biodiversité agricole. L'accompagnement de cette réflexion a abouti dans le dernier atelier de JdR d'avril 2007 à discuter de l'émergence de différentes formes de coordination : les banques de semences villageoises et les

coopératives semencières. L'application du modèle pour la définition des règles de fonctionnement de ces institutions est un résultat majeur où les scénarios et les indicateurs de suivi sont discutés collectivement, ce qui permet une appropriation facilitée de l'innovation.

## **Une pratique souple et évolutive de la modélisation**

En excluant une portée de prédiction pour le modèle, on se focalise sur la formalisation et la mise en relation d'une connaissance portée par un groupe : synthèse des savoirs épars et formalisation d'hypothèses communes, explicitation des implicites et identification des lacunes de connaissance. La modélisation devient une démarche collective, avec construction d'un langage commun qui permet de restituer les différents points de vue. Le modèle n'est plus considéré comme une boîte noire mais comme le « fil rouge » des rencontres pour un collectif. Il devient un objet pour lequel le paysan n'est plus l'enquêteur mais un acteur du système capable de prendre du recul sur une situation donnée. Le modèle évolue et s'adapte aux questions posées, il devient un objet intermédiaire dans un processus qui accompagne la réflexion.

## **Conclusion**

La diversité variétale est un bien commun ; c'est pourquoi il est important d'interroger sa durabilité tant au niveau du maintien des écosystèmes et des cultures que de la réponse aux besoins futurs des communautés humaines. Elle doit pour cela être envisagée sur les plans social, spatial et temporel comme étant la résultante d'une multitude de situations et stratégies individuelles et collectives. La démarche de modélisation d'accompagnement utilisée dans cette recherche a permis d'aborder de façon participative la question de l'agrobiodiversité en la circonscrivant au système semencier pour réinterroger nos données et hypothèses sur le fonctionnement du système. Dans un objectif de renforcement des capacités des acteurs locaux et de leurs communautés, les modèles et les JdR ont permis aux paysans, membres d'organisations paysannes ou d'ONG de dialoguer avec

les chercheurs pour construire ensemble une vision partagée de la dynamique de la biodiversité agricole. Les avancées de ce travail reposent sur la confrontation des expériences, notamment les banques de semences villageoises et les coopératives, semencières, avec les outils développés pour questionner concrètement les objectifs et les fonctions de ces nouvelles institutions rurales. Sur cette base, il a été possible de discuter de scénarios d'évolution pour lesquels le transfert d'innovation est déjà inclus dans le processus. ■

## Références

- Abrami G, Bazile D, Trebuil G, *et al.* Accompagner l'évolution des systèmes semenciers céréaliers au Mali et en Thaïlande. *Cah Agric* 2008 ; 17 : 210-5.
- Abrami G, Bazile D, Dionnet M, Dembélé S, Le Page C, Coulibaly H. Accompanying farmers in the building of collective rules for agrobiodiversity management. In : Nagel UJ, ed. *Managing economic, social and biological transformations*. Berlin : Humboldt University, 2007.
- Antona M, D'Aquino P, Aubert S, *et al.* Our companion modelling approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 2003 ; 6 ; on line .
- Bazile D, Page CL, Dembele S, Abrami G. Perspectives of modelling the farmer's seed system for in situ conservation of sorghum varieties in Mali. In : Cunha JB, Morais R, eds. *Fifth Conference of the EFITA and 3rd World Congress on computers in agriculture and natural resources*. Vila Real (Portugal) : European Federation for Information Technologies in Agriculture, Food and the Environment (EFITA), 2005.
- Bazile D, Soumare M. Gestion spatiale de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique : le cas du sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] au Mali. *Cah Agric* 2004 ; 13 : 480-7.
- Bezançon G, Pham JL. *Ressources génétiques des mils en Afrique de l'Ouest*. Paris : IRD éditions, 2004.
- Bousquet F, Barreteau O, Mullon C, Weber J. *Modélisation d'accompagnement : systèmes multi-agents et gestion des ressources renouvelables*. Paris : IRD éditions, 1996.
- Bousquet F, Barreteau O, d'Aquino P, *et al.* Multi-agent systems and role games : collective learning processes for ecosystem management. In : Janssen MA, ed. *Complexity and ecosystem management*. Cheltenham (Royaume-Uni) ; Northampton (États-Unis) : Edward Elgar Publisher, 2002.
- Bousquet F, Le Page C. Multi-agent simulations and ecosystem management : a review. *Ecol Model* 2004 ; 176 : 313-32.
- Brookfield H, Padoch C, Parsons H, Stocking M. *Cultivating biodiversity*. London : ITDG Publishing and United Nations University, 2002.
- Brush SB, Perales HR. A maize landscape : Ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas Mexico. *Agr Ecosyst Environ* 2007 ; 121 : 211-21.
- CIP-UPWARD. *Conservation and sustainable use of agricultural biodiversity*. Los Banos (Philippines) : CIP, 2003.
- Cleveland DA, Soleri D, Smith SE. Do folk crop varieties have a role in sustainable agriculture? *Bioscience* 1994 ; 44 : 740-51.
- Food and Agriculture Organisation (FAO). *Plan d'action mondial pour la conservation et l'utilisation durable des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture*. Rome (Italie) : FAO, 1996.
- Le Page C, D'Aquino P, Etienne M, Bousquet F. Processus participatifs de conception et d'usage de simulations multi-agents. Application à la gestion des ressources renouvelables. In : Boissier O, Guessoum Z, eds. *Systèmes multi-agents défis scientifiques et nouveaux usages*. Paris : Hermès, 2004.
- Longley C, Dominguez C, Saïde MA, Leonardo WJ. Do farmers need relief seed? A methodology for assessing seed systems. *Disasters* 2002 ; 26 : 343-55.
- Mazoyer M, Roudart L. *Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine*. Paris : Le Seuil, 2002.
- Nazmun N, Dray A, *et al.* *Innovation diffusion, social networks and strategic marketing : revisiting medical innovation with agents*. Bourg St. Maurice : HEMA/SMAGET, 2005.
- Teshome A. Maintenance of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landrace diversity by farmers' selection in Ethiopia. *Econ Bot* 1999 ; 53 : 79-88.
- Tryphon M. *Pour une gestion paysanne de l'agrobiodiversité : le cas du sorgho au Mali*. DESS Espace et Milieu, université Paris-7, 2005.
- Vejpas C, Bousquet F, Naivinit W, Trébuil G, Srisombat N, *et al.* Participatory modelling for managing rainfed lowland rice varieties and seed system in lower northeast Thailand. In : International Rice Research Institute (IRRI), ed. *Mekong Rice Conference*. Ho Chi Minh City (Viêt-Nam) : IRRI, 2004.